

Aplicación de Metaheurísticas para la Resolución de Problemas de Optimización Dinámica

Juan José Barbero, Martín Tamagusku,
Natalia Stark, Hugo Alfonso¹,
Carlos Bermudez, Gabriela Minetti¹, Carolina Salto¹
Laboratorio de Investigación en Sistemas Inteligentes (LISI)
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Pampa
Calle 110 Esq. 9 (6360) General Pico - La Pampa - Rep. Argentina
Te. / Fax: (02302) 422780/422372, Int. 6302
e-mail: ¹{minettig, saltoc, alfonsoh@ing.unlpam.edu.ar}

Resumen Este proyecto de investigación se enfoca en la resolución de problemas de optimización a gran escala utilizando nuevas técnicas metaheurísticas, así como también su hibridación con las ya existentes. Actualmente estamos abocados al estudio del problema de diseño de redes de distribución de agua, problema al que se enfrentan las ciudades modernas con restricciones cambiantes. Este problema lo abordamos mediante el uso de metaheurísticas como *Simulated Annealing* y *Cuckoo Search* con resultados muy prometedores.

Además, hemos empezado a investigar algoritmos eficientes que puedan dar respuesta en tiempo real a diversos tipos de problemas que a su vez van cambiando dinámicamente sus restricciones. Concretamente estamos introduciendonos en el uso de los algoritmos conocidos con el nombre de "Evolución Diferencial", los cuales son flexibles para adaptar el proceso de búsqueda frente a cambios de restricciones en la función objetivo conforme avance el tiempo. Estos cambios, muchas veces provocan que soluciones factibles dejen de serlo. Una alternativa frecuentemente usada, frente a estas situaciones, es la de aplicar un mecanismo de reparación a tales soluciones del problema.

Palabras claves: Metaheurísticas, Optimización, Diseño de Red de Distribución de Agua, *Simulated Annealing*, Evolución Diferencial.

Contexto

Estas líneas de investigación se desarrollan en el marco de un proyecto de investigación, llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación de Sistemas Inteligentes (LISI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa, acreditado por dicha facultad y dirigido por la Dra. Minetti. Cabe destacar que desde hace varios años, los integrantes de estos proyectos mantienen una importante vinculación con investigadores de la Universidad Nacional de San Luis (Argentina) y de la Universidad de Málaga (España), con quienes se realizan publicaciones conjuntas.

Uno de los principales frentes de trabajo en el ámbito de las Ciencias de la Computación ha sido tradicionalmente el diseño de algoritmos cada vez más eficientes para la solución de problemas, tanto de optimización como de búsqueda. En este dominio, el objetivo consiste en obtener algoritmos nuevos que den solución al problema y que necesiten un esfuerzo computacional más pequeño que los algoritmos existentes, así como caracterizar su comportamiento para las clases de problemas que demanda la comunidad científica e industrial en general.

La investigación de algoritmos tanto exactos como heurísticos para resolver problemas de optimización tiene una vigencia inusualmente importante en estos días, ya que nos enfrentamos a nuevos problemas de ingeniería al mismo tiempo que contamos con nuevos recursos computacionales tales como nuevos tipos de máquinas, redes y entornos como Internet.

Actualmente nos enfrentamos a problemas de alta complejidad en el que intervienen varias variables con un conjunto de restricciones definidas sobre ellas, muchas veces contrapuestas, que deben ser consideradas para evaluar la factibilidad de la solución aportada, las cuales en muchos casos cambian dinámicamente [1]. En este sentido, las líneas de investigación de este proyecto se encargan de proponer, adaptar y analizar distintas metaheurísticas con el propósito de resolver eficaz y eficientemente diferentes problemas.

En una de las líneas se investiga la optimización del diseño de redes de distribución de agua, que es un campo de investigación muy activo desde hace algunas décadas. Estas redes están compuestas por reservorios y tuberías que tratan de brindarles a los usuarios un flujo constante de agua con una determinada presión. El problema de optimizar estas redes consiste en encontrar el diámetro óptimo de cada tubería seleccionándola de un conjunto limitado de caños disponibles comercialmente, con el objetivo de reducir el costo. En esta línea de investigación se están utilizando técnicas metaheurísticas basadas en trayectoria y en población. En particular se están adaptando y probando diferentes algoritmos como *Simulated Annealing* (SA), *Cuckoo Search* (CS), entre otros.

Otra línea de investigación se relaciona al uso de la Optimización Evolutiva en Espacios Dinámicos [2], para lo cual se utiliza un tipo de algoritmo heurístico que se conoce con el nombre de "Evolución Diferencial" e inicialmente se experimenta con un problema que cambia sus restricciones en forma dinámica [3] y es complejo de resolver por el landscape que presenta, debiendo sortear zonas de soluciones no factibles. Particularmente se fijó como hipótesis de trabajo diseñar un mecanismo de reparación de soluciones no factibles para reemplazarla por otras [4] localizadas en un contexto de vecindario delimitado por un distancia mínima.

Desarrollo

En esta sección se describen las dos líneas de investigación mencionadas en la introducción.

Optimización del diseño de redes de distribución de agua (Water Distribution Network Design Optimization WDND)

Se requiere un método de solución eficaz que sea confiable y fácil de usar para la optimización de las WDND, que proporcionan un servicio esencial en todas las comunidades. La optimización no solo aborda los costos de capital y operativos junto con el rendimiento y la confiabilidad hidráulica, sino también la gestión competente de la energía. En consecuencia, las metaheurísticas brindan, una vez más, una alternativa de solución eficiente. Por este motivo, en esta línea de investigación se analizan y diseñan dos variantes metaheurísticas que resuelven este problema, SA y CS.

Dada las características propias de este tipo de redes, una vez que SA o CS arman una determinada solución, la prueban y evalúan por medio del simulador EPANET 2.0 [5]. Este simulador, además, resuelve todas las ecuaciones hidráulicas de forma externa. Los problemas que se utilizan para efectuar los experimentos son de período simple y multi período, en donde el patrón de demanda varía con el tiempo.

Optimización de Problemas con Restricciones Dinámicas

Un Problema de Optimización con Restricciones Dinámicas (DCOP - Dynamic Constrained Optimization Problem) puede ser visto como un problema donde el espacio de búsqueda y la región de soluciones factibles cambia a lo largo del tiempo [6] [7]. Se han definido 4 variantes de DCOPs en función de si la función objetivo y las restricciones se mantienen estáticas o dinámicas a lo largo del tiempo [2]. Este problema lo hemos abordado con Algoritmos Evolutivos Diferenciales, ellos son identificados con la sigla DE, proveniente de su denominación anglosajona *Differential Evolution* (DE) [8]. Se trata de un algoritmo de búsqueda estocástica que opera con una población de soluciones denominadas vectores. La población está representada como: $\mathbf{x}_{i,G}, i = 1 \dots NP$, donde $\mathbf{x}_{i,G}$ representa el vector i en la generación G , y NP es el tamaño de la población de soluciones con las que realiza la evolución usando operadores específicos de mutación y crossover.

Una variante propuesta por Mezura Montes et al [9] para mejorar el algoritmo original introduce un mecanismo de reparación de soluciones no factibles usando un método de reparación basado sobre el operador de mutación diferencial que chequea su factibilidad y en caso de no serlo, se vuelve a aplicar el mencionado mecanismo mientras no supere una cantidad *Limite_Reparacion* o bien sea factible. El vector obtenido luego de ese proceso de reparación, sea o no factible, pasará a ser el vector obtenido para la próxima generación. El método de reparación sólo evalúa la factibilidad del vector en función de si cumple las restricciones, no por su calidad con lo cual se mantiene la diversidad genética.

A partir de ello estamos trabajando en la puesta a punto de una variante del método de reparación que consiste en buscar en el vecindario, circundante a la solución no factible, una solución factible para reemplazarla. La idea central del método es hacer prevalecer la localización del vector mutante generado y centrar la búsqueda de una solución vecina próxima a ella. La proximidad se fija con un parámetro δ que indica el desplazamiento en cada uno de las dimensiones, estimando sea el método de reparación menos disruptivo en el proceso de búsqueda.

Resultados Obtenidos

A continuación se detallan los resultados obtenidos para la primera línea de investigación mencionada, ya que el desarrollo de las variantes del mecanismo de reparación para el Problema de Optimización con Restricciones Dinámicas se encuentra en la fase de recolección de resultados.

Para resolver el problema WDND experimentamos con dos metaheurísticas, SA y CS, con respecto al CS fue desestimado, luego de efectuar diversos experimentos, ya que obtuvimos resultados de pobre calidad, sobre todo con el tiempo de resolución del algoritmo, este motivo está justificado por ser poblacional y la cantidad de evaluaciones contra los restantes algoritmos comparados es muy superior. Por otra parte adaptamos un algoritmo SA al cual le incorporamos diversos mecanismos para intensificar la búsqueda local por cada paso. Denominamos nuestra propuesta Hybrid

Simulated Annealing(HSA) y consiste en tomar en cada iteración, una solución factible y aplicarle el método de búsqueda local MP-GRASP [10] que reemplazará a la solución inicial en función de un método de selección voraz. Luego se genera otra solución a partir de la inicial aplicando un operador de mutación para obtener una solución vecina y poder explorar otras áreas del espacio de búsqueda, esta solución puede ser aceptada en función de una probabilidad de Boltzmann, que depende de la temperatura actual. De esta forma con temperaturas altas se favorece la exploración, en contraste con una temperatura baja en donde se hace una búsqueda intensiva en alguna región prometedora. La temperatura se actualiza con el método de enfriado proporcional [11], aplicada luego de un número de iteraciones determinadas por la longitud de la cadena de Markov. Nuestros resultados fueron comparados con los resultados obtenidos en [10] y pudimos mejorar los resultados en un 60 % de las instancias, además de obtener una convergencia mucho más rápida hacia las mejores soluciones.

En la actualidad se están probando diferentes variantes para mejorar los resultados de este problema, sobre todo centrándonos en el aspecto dinámico, ya que es más representativo de las necesidades reales del campo de aplicación de estas redes. Una metaheurística como la evolución diferencial [12] reúne estas características y nos encontramos en la actualidad recabando información para determinar la factibilidad de aplicar esta técnica.

Formación de Recursos Humanos

Cada año se incorporan al proyecto alumnos avanzados en la carrera Ingeniería en Sistemas, quienes trabajan en temas relacionados a la resolución de problemas de optimización usando técnicas inteligentes, con el objeto de guiarlos en el desarrollo de sus tesis de grado y, también, de formar futuros investigadores científicos. Por otra parte, los docentes-investigadores que integran el proyecto realizan diversos cursos de posgrado relacionados con la temática del proyecto, con el objetivo de sumar los créditos necesarios para cursar carreras de posgrado.

REFERENCES

- [1] “Immune generalized differential evolution for dynamic multi-objective environments: An empirical study,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 142, pp. 192 – 219, 2018.
- [2] M.-Y. Ameca-Alducin, E. Mezura-Montes, and N. Cruz-Ramírez, “Dynamic differential evolution with combined variants and a repair method to solve dynamic constrained optimization problems: an empirical study,” *Soft Computing*, vol. 22, no. 2, pp. 541–570, Jan 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2353-1>
- [3] K. Deb, *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, ser. Wiley Interscience Series in Systems and Optimization. Wiley, 2001. [Online]. Available: <https://books.google.com.ar/books?id=OSTn4GSy2uQC>
- [4] M. Gen and R. Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, ser. A Wiley Interscience publication. Wiley, 1997. [Online]. Available: <https://books.google.com.ar/books?id=MCHCaJAHFJAC>
- [5] *Users Manual*, 2000.
- [6] T. T. Nguyen and X. Yao, “Continuous dynamic constrained optimization—the challenges,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 16, no. 6, pp. 769–786, Dec 2012.
- [7] E. Juárez-Castillo, N. Pérez-Castro, and E. Mezura-Montes, “An improved centroid-based boundary constraint-handling method in differential evolution for constrained optimization,” *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 31, no. 11, p. 1759023, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1142/S0218001417590236>
- [8] K. Price, R. Storn, and J. Lampinen, *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*.
- [9] E. Mezura-Montes, M. E. Miranda-Varela, and R. del Carmen Gómez-Ramón, “Differential evolution in constrained numerical optimization: An empirical study,” *Inf. Sci.*, vol. 180, pp. 4223–4262, 2010.
- [10] A. De Corte and K. Sörensen, “An iterated local search algorithm for water distribution network design optimization,” *Network*, vol. 67, no. 3, pp. 187–198, May 2016.
- [11] S. Kirkpatrick, C. G. Jr, and M. Vecchi, “Optimization by simulated annealing,” *Science*, no. 220, pp. 671–680, 1983.
- [12] P. K. Storn, R., “Differential evolution—a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous space,” *Technical Report TR-95-012*, 1995.